



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aarni Nikkola

YKSIKOMPONENTTIHARTSIN KÄYT- TÖ VALUTUSHARTSAUKSESSA

Tekniikka
2020

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Aarni Nikkola
Opinnäytetyön nimi	Yksikomponenttihartsin käyttö valutushartsauksessa
Vuosi	2020
Kieli	suomi
Sivumäärä	31 + 1 liite
Ohjaaja	Riitta Niemelä

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy:lle. Tämän työn tarkoituksena on selvittää yksikomponenttihartsin soveltuvuutta Vaasan ABB:n Motors and Generators -yksikön valutushartsauksessa. Tutkittava yksikomponenttihartsi ei sisällä helposti syttyvää ja terveydelle haitallista styreeniä niin kuin nykyisin käytössä oleva kaksikomponenttihartsi. Työtä varten hartsattiin ja tutkittiin 12 staattoria yksikomponenttihartsin soveltuvuuden selvittämiseksi.

Hartsaus on sähkömoottoreiden valmistuksen vaihe, jossa staattoripaketit kyllästetään hartsilla. Hartsi suojaa staattoria kosteudelta, kuumuudelta, värinöiltä, kulumiselta ja kemikaaleilta. Staattori on sähkömoottorin osa, joka saa siihen johdetulla sähkövirralla aikaan roottoria liikuttavan sähkökentän. Vaasan ABB:n Motors and Generators -yksikön hartsaamossa on käytössä valutus- ja upotuskyllästysmenetelmät.

Hartsitestiä perusteella voitiin tehdä johtopäätös, että tutkittava yksikomponenttihartsi ei sovellu sen nykyisillä ominaisuuksillaan Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskäyttöön. Yksikomponenttihartsin korkea viskositeetti aiheuttaa liian pitkäkestoisen staattorin hartsausprosessin ajan. Hartsattujen staattoreiden osittaispurkaustutkimuksista voitiin tehdä havainto, että osalla yksikomponenttihartsilla hartsatuista staattoreista oli matalia osittaispurkausten syttymisjännitteitä. Jatkotutkimuksia tarvitaan, jotta yksikomponenttihartsin hartsaustuloksista saadaan enemmän tietoa.

ABSTRACT

Author	Aarni Nikkola
Title	Usage of Single Component Resin in Trickle Impregnation
Year	2020
Language	Finnish
Pages	31 + 1 Appendix
Name of Supervisor	Riitta Niemelä

This thesis is made for ABB Group. The purpose of this thesis was to examine the possibility of using a single component resin in trickle impregnation at ABB's Motors and Generators unit in Vaasa. The examined single component resin does not include styrene, which is easily flammable and harmful to health as the two-component resin currently in use does. The total of 12 stators were trickle impregnated for this study.

Stator impregnation is a phase in electric motor manufacturing, where stators are impregnated with impregnation resin. The resin protects the stator from moisture, heat, tremors, wearing and chemicals. Stator is a component of an electric motor, which generates an electric field that moves a rotor inside the stator. Trickle and hot dip impregnation methods are used at the impregnation plant in ABB's Motors and Generators unit in Vaasa.

After the impregnation resin tests were completed, it could be concluded that the examined single component resin is not suitable for the trickle impregnation method used at the impregnation plant. High viscosity of the single component resin causes the stator impregnation process to be too long in time. It could be identified from the partial discharge tests that some of the stators impregnated with the single component resin had low partial discharge inception voltages. Further studies are required to get more information about the single component resin's impregnation results and properties.

Keywords	ABB, single component resin, trickle impregnation, styrene and stator
----------	---

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	9
1.1	Yritysesittely	9
1.2	Työn tausta ja tutkimusongelma	9
1.3	Työn tavoitteet	10
2	STAATTOREIDEN VALUTUSKYLÄSTYS	11
2.1	Hartsauksen tavoitteet	11
2.2	Valutuskylästäys	11
2.3	Hartsausvälineet	12
2.4	Hartsit	13
2.4.1	Harts 1	13
2.4.2	Harts 2	13
2.5	Hartsivarasto	13
2.6	Hartsinsekoittamo	14
2.7	Hartsaamon suojaimet ja turvallisuus	15
2.8	Valutuskylästäyksen terveysvaikutukset	16
3	TUTKIMUKSEN LÄHESTYMISTAPA JA TOTEUTUS	17
3.1	Tutkimuksen lähestymistapa	17
3.2	Tutkimuksen toteutus	17
4	HARTSITESTIT	19
4.1	Hartsien valmistus	19
4.2	Viskositeetin mitta	19
4.3	Runkokoon 280 sähkömoottoreiden staattoreiden hartsaus	20
4.4	Runkokoon 355 sähkömoottoreiden staattoreiden hartsaus	20
4.5	Osittaispurkausmittaukset	21
5	TULOKSET	23
5.1	Hartsien viskositeetti ja staattoreiden hartsauksen valutusaika	23
5.2	Hartsijäämä ja täytösprosentti	24

5.3	Osittaispurkausmittaukset	25
5.3.1	Runkokoko 280	25
5.3.2	Runkokoko 355	27
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	30
6.1	Keskeiset johtopäätökset.....	30
6.1.1	Jatkotutkimukset	30
	LÄHTEET.....	31

LIITTEET

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Hartsauskone Iso Strömberg.....	12
Kuva 2. Harts 2 -hartsikomponenttisäiliöt. (Vain ABB:n sisäiseen käyttöön.) ..	13
Kuva 3. Hartsivaraston rullakuljettimet sekä siniset hartsikomponenttitynnarit.	14
Kuva 4. Hartsinsekoittamo.	15
Kuva 5. 3M-merkkinen moottoroitu hengityksensuojain.....	16
Kuva 6. DIN 4 -mittakuppi. /7/	19
Kuva 7. Runkokoon 280 staattori menossa hartsaukseen.	20
Kuva 8. Runkokoon 355 staattori menossa hartsaukseen.	21
Kuva 9. Hartsattu staattori kytkettynä osittaispurkausmittausta varten.	22
Kuva 10. Hartsien viskositeetit ja runkokoon 280 staattoreiden keskimääräiset hartsausten valutusajat.	23
Kuva 11. Hartsattujen runkokoon 355 staattoreiden keskimääräiset hartsijäämät ja täytösprosentit.	25
Kuva 12. Runkokoon 280 staattoreiden vaiheiden välisten osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.....	26
Kuva 13. Runkokoon 280 staattoreiden vaihe-maa osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.....	27
Kuva 14. Runkokoon 355 staattoreiden vaiheiden välisten osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.....	28
Kuva 15. Runkokoon 355 staattoreiden vaihe-maa osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.....	29

LIITELUETTELO

LIITE 1. Hartsitestien tulokset. Vain ABB Oy:n käyttöön.

LYHENTEET

ABB	Asea Brown Boveri
PDIV	Partial Discharge Inception Voltage
RPDIV	Repetitive Partial Discharge Inception Voltage
RPDEV	Repetitive Partial Discharge Extinction Voltage
PDEV	Partial Discharge Extinction Voltage

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty ABB Oy:lle yhteistyössä Motors and Generators -yksikön kanssa. Tästä opinnäytetyön julkaisuversiosta on poistettu tai muutettu tietoja ABB Oy:n yrityssalaisuuksien varjelemiseksi.

1.1 Yritysesittely

ABB Oy on johtava teknologian edelläkävijä, jonka pääkonttori sijaitsee Sveitsin Zürichissä. ABB:n toiminta keskittyy sähkövoimatekniikkaan ja automaatiotekniikkaan. ABB toimii yli 100 maassa ja sillä on noin 147 000 työntekijää. Teollisista työnantajista ABB on Suomessa suurimpia ja Helsingissä suurin. Suomessa yritys toimii noin 20 paikkakunnalla ja sillä on noin 5 400 työntekijää. /1/

ABB Oy on johtava moottorivalmistaja maailmalla. Motors and Generators liiketoimintalinja valmistaa ja kehittää generaattoreita ja moottoreita kaikkiin soveluksiin ja teollisuudenaloille maailmanlaajuisesti. ABB panostaa Suomessa paljon suuren hyötysuhteen generaattoreiden ja moottoreiden tuotekehitykseen ja tutkimukseen. Vaasan ABB:n tehtaan vastuulla on yhtiön pienjännitemoottoreiden kehitys ja valmistus vaativiin käyttöympäristöihin. Motors and Generators työllistää maailmanlaajuisesti noin 13 000 henkeä 9 maassa 31 tehtaassa. Suomessa Motors and Generators työllistää noin 1 520 henkilöä, joista Helsingissä 900 ja Vaasassa 550. /2/

1.2 Työn tausta ja tutkimusongelma

Vaasan ABB Oy:n Motors and Generators -yksikön hartsaamossa hartsataan staattoreita. Hartsaus on sähkömoottoreiden valmistuksen vaihe, jossa staattoripaketit kyllästetään hartsilla. Hartsin suojaa staattoria kosteudelta, kuumuudelta, tärinöiltä, kulumiselta ja kemikaaleilta. ABB Oy:n Vaasan toimipisteen hartsaamossa on käytössä kaksi erilaista hartsausmenetelmää; valutuskyllästys- ja upotuskyllästysmenetelmät. Valutuskyllästysten polyesterihartsin valmistetaan hartsaamon sekoittamossa kahdesta pääkomponentista, joita ovat komponentti A ja B. Pääkomponenttien lisäksi hartsiin sekoitetaan kvartsihiekkaa täyteaineeksi.

Kaksikomponenttihartsin A ja B komponentteja säilytetään hartsivarastossa 200 litran tynnyreissä. 200 litran tynnyreiden siirtely hartsivarastoon sekä hartsivarastosta hartsinsekoittamoon on työlästä ja aikaa vievää. Jos yksikomponenttihartsia voitaisiin käyttää hartsaamon valutuskyllästyksessä, niin komponenttitynnyrit A ja B voitaisiin korvata 1 000 litran yksikomponenttihartsisäiliöillä. Tämä säästäisi työntekijän työtunteja ja sujuvoittaisi hartsin valmistusta, koska säiliöiden vaihtoväli olisi hartsinsekoittamossa harvempi. Tulevaisuudessa yksikomponenttihartsia voitaisiin myös ohjata suoraan hartsaamon työpisteille, jos hartsin täyteaineesta voitaisiin luopua.

Tutkittava ja mahdollisesti korvaava yksikomponenttiharts ei sisällä terveydelle haitallista styreeniä, jota on nykyisin Vaasan ABB:n valutuskyllästyksessä käytettävässä kaksikomponenttihartsissa. Styreeni on helposti syttyvä aine, jolla on useita eri terveyshaittoja. Styreeni ärsyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä, lisäksi sen epäillään olevan sikiölle haitallista ja se voi vahingoittaa kuuloa. Pitkäaikainen altistuminen styreenille voi aiheuttaa keskushermoston toiminnan häiriintymistä ja erittäin suurille määrille altistuminen voi aiheuttaa keskushermoston lamaantumista. Styreenille altistutaan nestemäisessä ihokontaktissa ja hengitettäessä styreenipitoisia kaasuja. /8/

1.3 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia yksikomponenttihartsin soveltuvuutta Vaasan ABB:n hartsaamon staattoreiden valutuskyllästyksessä. Yksikomponenttihartsina käytetään Harts 1 -nimistä hartsia. Tämä harts korvaisi nykyisin käytössä olevan Harts 2 -nimisen kaksikomponenttihartsin.

Tutkimusta varten valmistetaan ja hartsataan yhteensä 12 staattoria ja tehdään näille staattoreille hartsauksen aikana ja sen jälkeen erilaisia mittauksia, näistä mittauksista on kerrottu tarkemmin luvussa tutkimuksen toteutus (Luku 3.2). Tavoitteena on saada staattoreiden hartsauksista, mittaustuloksista ja sahauksista tietoa tutkittavan yksikomponenttihartsin soveltuvuudesta Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästykseen.

2 STAATTOREIDEN VALUTUSKYLLÄSTYS

2.1 Hartsauksen tavoitteet

Staattoreiden hartsauksen tavoitteena on kyllästää staattoripaketit hartsilla. Hartsi suojaa staattoripakettia kosteudelta, kuumuudelta, värinöiltä, kulumiselta ja kemikaaleilta. Hartsausprosessin jälkeen staattorista muodostuu tiivis ja yhtenäinen kestävä paketti. Kyllästyshartsi estää staattorin kuparilankojen hankaamisen toisiinsa vasten, joka voisi aiheuttaa kulumista ja oikosulkuja. Hartsaus myös parantaa eristeiden jännitekestoisuutta ja poistaa ilmataskut kääminnästä.

2.2 Valutuskyllästys

Valutuskyllästyksessä staattorin hartsaukseen käytetään hartsauskoneetta, jota työntekijä operoi (Kuva 1). Staattorin valutuskyllästys koostuu useasta eri työn vaiheesta, joita ovat staattorin esivalmisteluvaihe, valutusvaihe, hyytelöitymisvaihe, kovetusvaihe, puhdistusvaihe ja staattorin uuniin laitto. Staattoreiden siirtelyyn käytetään nostureita ja trukkeja. Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästyksessä on käytössä 5 erilaista hartsauskoneetta.

Esivalmisteluvaiheessa staattori valmistellaan valmistelupöydällä hartsauskoneeseen laittamista varten. Staattoriin asennetaan tarvittavat liittimet, kitti sekä käämin päähän kreppipaperi. Tämän jälkeen staattori siirretään nosturin avulla hartsauskoneeseen.

Hartsauskoneessa staattori asetetaan – asteen kulmaan ja lämmitetään staattori tasavirralla valutuslämpötilaan, joka on noin $-^{\circ}\text{C}$. Staattorin läpi valutetaan kannuilla kaatamalla kyllästyshartsi, jolloin hartsi kastelee staattorin kuparilangat sen sisäpuolelta. Kun hartsi on valunut staattorin läpi ja hartsia valuu staattorin toisesta päästä reilusti, otetaan kreppipaperi pois ja kaadetaan käämien päihin runsaasti hartsia. Näin varmistetaan, että kuparilangat ja eristeet kastuvat varmasti hartsilla.

Valutusvaiheen jälkeen staattori asetetaan melkein vaakatasoon ja lämmitetään käämintä noin $-^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan, jolloin hartsi alkaa hyytelöityä. Hyytelöitymisvaiheessa käämien päihin lisätään toinen kerta hartsia.

Hyttelöitymisvaiheen jälkeen käämintä lämmitetään noin $-^{\circ}\text{C}$ lämpötilaan, jolloin hartsi alkaa kovettua. Hartsin annetaan kovettua vähintään – minuuttia riippuen staattorista. Kovetusvaiheen jälkeen staattori siirretään nosturin avulla puhdistuspöydälle, jossa staattori puhdistetaan tinneriä, rättejä, puhdistustyökaluja ja paineilmapuhaltimia apuna käyttäen. Puhdistuksen jälkeen staattori siirretään nosturilla uuniin, jossa tapahtuu lopullinen hartsin kovettuminen $-^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa vähintään – minuutin ajan.



Kuva 1. Hartsauskone Iso Strömberg.

2.3 Hartsausvälineet

Hartsausvälineinä työntekijä käyttää 20 litran ämpäreitä ja muovisia kannuja. 20 litran ämpäreihin laitetaan hartsinsekoittamossa valmistettu hartsi, joka kuljetaan hartsauskoneelle. Muovisia kannuja käytetään hartsin kaatamiseen staattorin kääminnän sisälle ja kääminnän päälle. Hartsauksessa käytetään myös erilaisia apuvälineitä, kuten ilmanpaineikäyttöisiä vääntötyökaluja, jakoavaimia, rättejä, paineilmapuhaltimia ja puhdistustyökaluja.

2.4 Hartsit

2.4.1 Harts 1

Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästyksessä käytetään Harts 1 -nimistä hartsia. Käytettävä Harts 1 koostuu pääkomponenteista A ja B sekä kvartsihiekkasta. Hartsiin lisätään kvartsihiekkaa täyteaineeksi niin, että hartsin massasta 33 % on täyteainetta. Harts 1 -kaksikomponenttihartsin kaupallinen nimi on – /3/

2.4.2 Harts 2

Harts 2 -niminen yksikomponenttiharts säilytetään 1 000 litran säiliöissä ja sitä käytetään Vaasan ABB:n hartsaamon upotuskyllästyksessä (Kuva 2). Sitä ei ole luokiteltu vaaralliseksi aineeksi ja se on vähäpäästöistä sekä VOC-vapaata. Harts 2 ei sisällä styreeniä ja on terveydelle vähemmän haitallista kuin Vaasan ABB:n valutuskyllästyksessä käytetty hartsi. Harts 2 -yksikomponenttihartsin kaupallinen nimi on – /4/

Kuva 2. Harts 2 -hartsikomponenttisäiliöt. (Vain ABB:n sisäiseen käyttöön.)

2.5 Hartsivarasto

Vaasan ABB:n hartsivarastossa säilötään 200 litran A- ja B-polyesterihartsikomponenttitynnyrit, 1 000 litran yksikomponenttihartsisäiliöt,

maaleja ja silikonია. 200 litran hartsikomponenttisäiliöt säilötään rullakuljettimilla (Kuva 3). Hartsivaraston ilman lämpötila pidetään tasaisena, sillä lämpötilanvaihtelut ja liian korkea lämpötila voivat aiheuttaa hartsikomponenttitynnereiden räjähdysvaaran. Hartsivarastossa on käytettävä hengityksensuojaimia.



Kuva 3. Hartsivaraston rullakuljettimet sekä siniset hartsikomponenttitynnarit.

2.6 Hartsinsekoittamo

Hartsinsekoittamossa valmistetaan valutushartsauksessa käytettävä hartsi. Kuvas-
sa 4 nähdään siniset kaksikomponenttihartsitynnarit ja kvartsihiekkasäkki liitetty-
nä hartsinsekoittimeen. Työntekijät valmistavat hartsin 20 litran ämpäreihin ja
kuljettavat ne työpisteilleen. Työntekijät täydentävät hartsivarastosta hartsin-
sekoittimeen hartsikomponentit A:n ja B:n sekä kvartsihiekan sitä mukaan, kun ne
tyhjenevät. Hartsinsekoitin on vaihdettava puhdistusta varten noin kuukauden vä-
lein.



Kuva 4. Hartsinsekoittamo.

2.7 Hartsaamon suojaimet ja turvallisuus

Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskylästyksessä on käytettävä erilaisia pakollisia suojaimia. Pakollisia suojaimia ovat turvajalkineet, suojalasit, kuulonsuojaimet, suojakäsineet, suojavaatetus, trukin turvavyö ja moottoroitu autoflow-hengityksensuojain. Vaasan ABB:llä on käytössä 3M-merkkisiä autoflow-hengityksensuojaimia (Kuva 5). Työntekijät käyttävät hartsaukseen ja oheistöihin erilaisia suojakäsineitä, kuten viiltosuojattuja hanskoja ja nitrilikumihanskoja. Nitrilikumihanskat suojaavat hartsilta ja muilta hartsaamossa käytettäviltä kemikaaleilta, kuten tinneriltä.



Kuva 5. 3M-merkkinen moottoroitu hengityksensuojain.

2.8 Valutuskyllästyksen terveysvaikutukset

Vaasan ABB:n hartsaamon valutushartsauksessa käytettävä hartsi sisältää styreeniä. Styreeni on terveydelle haitallista, sen terveyshaittoja ovat hengitysteiden limakalvojen ja silmien sidekalvojen ärsytys ja mahdolliset allergiset reaktiot /5/. Korkeat altistukset styreenille voi aiheuttaa hermoston toiminnan häiriöitä, keskushermoston lamaantumista ja kromosomimuutoksia veren lymfosyyteissä /5/. Hartsaamon ilmassa on myös happoanhydridipitoisuuksia eri vahvuuksina. Happoanhydridit ärsyttävät hengitysteitä, ihoa ja silmiä ja voivat aiheuttaa allergista nuhaa ja astmaa jo matalilla altistumistasoilla /6/. Hartsaamo on voimakkaasti alipaineistettu ilmanvaihdon ja henkilökohtaisia suojavälineitä käytetään altistumisen minimoimiseksi.

Hartsaamossa voi altistua voimakkaalle magneettikentälle, minkä vuoksi sydämentahdistimen omistava henkilö ei saa olla hartsaamossa. Hartsaamossa työskentelevät on tutkittava ABB:n työterveyden toimesta, koska hartsaamon ilma voi aiheuttaa allergisessa henkilössä allergisoinnin lisääntymistä.

3 TUTKIMUKSEN LÄHESTYMISTAPA JA TOTEUTUS

3.1 Tutkimuksen lähestymistapa

Tutkimusta lähestyttiin pohtimalla Vaasan ABB:n hartsaamon ongelmakohtia ja kehittämiskohteita. Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästyksessä on käytössä terveydelle haitallista styreeniä sisältävää kaksikomponenttihartsia. Hartsin korvaaminen Hartsi 2 -yksikomponenttihartsilla poistaisi styreenin valutushartsauksesta.

Käytössä olevan kaksikomponenttihartsin korvaaminen myös kehittäisi Vaasan ABB:n hartsaamon hartsinsekoittamoa. Työntekijät vaihtavat hartsinsekoittimeen 200 litran A- ja B-kaksikomponenttihartsitynnyrit niiden tyhjennettyä. Jos tynnyrit voitaisiin korvata 1 000 litran yksikomponenttihartsisäiliöillä, hartsia tarvitsisi täydentää sekoittimeen harvemmin. Pohdittiin myös mahdollisuutta poistaa täyteaine hartseista, tämä voisi poistaa tarpeen hartsinsekoittimelle ja hartsi voitaisiin ohjata suoraan hartsaamon työpisteille.

3.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutettiin yhteistyössä ABB:n Motors and Generators -yksikön kanssa. Tutkimus aloitettiin valmistamalla hartsitesteihin tarvittavat staattorit. Sähkömoottoreiden staattoreita päätettiin valmistaa 12 kappaletta runkokooltaan 280 ja 355. Runkokoon 355 staattoreita valmistettiin kuusi kappaletta ja ne valmistettiin ABB:n omissa tiloissa. Runkokoon 280 staattoreita valmistettiin myös kuusi kappaletta ja ne valmistettiin ABB:n alihankkijan tiloissa.

Staattoreiden valinnan jälkeen päätettiin, mitä hartseja ja niiden variaatioita hartsitesteissä käytetään. Hartseina päätettiin käyttää Vaasan ABB:n hartsaamossa nykyisin käytössä olevaa Hartsi 1 -kaksikomponenttihartsia ja Hartsi 2 -yksikomponenttihartsia, jonka soveltuvuutta valutuskyllästykseen on tässä opinäytetyössä tarkoitus tarkastella. Näiden hartsien variaatioita päätettiin olevan neljää erilaista:

- Hartsi 1 -kaksikomponenttihartsi ilman täyteainetta

- Harts 1 -kaksikomponenttiharts 33 prosentin täyteaineseoksella (nykyisin käytössä oleva harts)
- Harts 2 -yksikomponenttiharts ilman täyteainetta
- Harts 2 -yksikomponenttiharts 33 prosentin täyteaineseoksella.

Tutkimukseen lisättiin kuitenkin myöhemmin Harts 2 -yksikomponenttiharts 20 prosentin täyteaineseoksella, tästä on kerrottu lisää luvussa 4.4. Hartsien täyteaineena käytettiin kvartsihiekkää.

Hartsaukset suoritettiin Vaasan ABB:n Motors and Generators -yksikön hartsaamossa. Runkokoon 355 staattorit hartsattiin Thumm-hartsauskoneella ja runkokoon 280 staattorit hartsattiin Pieni Strömberg-hartsauskoneella. Harts 2 -hartsilla hartsattiin 8 staattoria ja Harts 1 -hartsilla 4 staattoria. Puolet staattoreista hartsattiin täyteaineen kanssa ja puolet ilman täyteainetta. Hartsattiin myös jo käytössä olevalla kaksikomponenttihartsilla, jotta saatiin vertailukohta uuteen hartsiin. Harts 1 -hartsilla ilman täyteainetta hartsattiin, koska haluttiin tietää miten täyteaineen poisto vaikuttaa kaksikomponenttihartsin ominaisuuksiin ja hartsaustulokseen.

Hartsauksen aikana mitattiin staattoreiden massat ennen ja jälkeen hartsauksen, hartsien viskositeetti ja hartsin läpivalumiseen kulunut aika. Hartsauksen jälkeen hartsatuille staattoreille tehtiin osittaispurkausmittaukset.

Osittaispurkausmittausten jälkeen osa staattoreista on tarkoitus sahata auki. Sahauksen avulla voidaan tarkastella, kuinka hyvin harts on valunut staattorin käämin läpi ja voidaan tehdä havainnot vyyhtien täytöksistä. Puolet yksikomponenttihartsilla hartsatuista staattoreista aiotaan käyttää myöhemmin, joten niitä ei sahata auki. Sahauksen tulokset eivät kuitenkaan sisälly tähän opinnäytetyöhön.

4 HARTSITESTIT

4.1 Hartsien valmistus

Tarvittavat hartsit valmistettiin hartsinsekoittamossa työvuoron alussa. Valutus-hartsauksessa käytössä oleva Harts 1 -kaksikomponenttiharts täyteaineen kanssa valmistettiin normaalilla tavalla hartsinsekoittimella. Muut hartsit valmistettiin käyttäen käsikäyttöisiä pumppuja hartsien pumppaamiseksi säiliöistä sekä tarkkaa vaakaa, jotta ainemäärät saatiin oikeiksi.

4.2 Viskositeetin mittaus

Viskositeetti kuvaa kaasun tai nesteen kykyä vastustaa virtausta. Hartsien viskositeetin mittaamiseen käytettiin DIN 4 -mittakuppia (Kuva 6). Sen tilavuus on 100 cm³ ja sen pohjassa oleva reikä on halkaisijaltaan 4 mm. Hartsin viskositeetti mitataan DIN 4 -mittakupilla niin, että mittakuppi täytetään hartsilla ja valutetaan harts mittakupin pohjan reiän läpi. Mitataan aika, joka kuluu hartsin läpivalumiseen, kunnes mittakuppi on tyhjä. Tästä saadaan nesteen viskositeettia kuvaavat DIN-sekunnit. Hartsin viskositeetilla on hartsauksen kannalta merkitystä, koska se vaikuttaa hartsausprosessin kestoon sekä hartsaustulokseen.



Kuva 6. DIN 4 -mittakuppi. /7/

4.3 Runkokoon 280 sähkömoottoreiden staattoreiden hartsaus

Runkokoon 280 staattorit hartsattiin Pieni Strömberg-hartsauskoneella (Kuva 7). Staattoreiden hartsauksessa käytettiin hartsauskoneen normaaleja säätöjä. Hartsauksen valutuslämpötila oli noin $-^{\circ}\text{C}$, kovetuslämpötila noin $-^{\circ}\text{C}$ ja kovetusaika – minuuttia. Eri hartsien valmistamiseen kului reilusti aikaa ja kaikkiaan aikaa meni kuuden staattorin hartsaukseen noin kahden työvuoron verran. Puolet staattoreista hartsattiin täyteaineen kanssa. Täyteainetta sekoitettiin hartsiin niin, että 33 % hartsin massasta oli täyteainetta.



Kuva 7. Runkokoon 280 staattori menossa hartsaukseen.

4.4 Runkokoon 355 sähkömoottoreiden staattoreiden hartsaus

Runkokoon 355 staattorit hartsattiin Thumm-hartsauskoneella (Kuva 8). Hartsi 2 täyteaineen määrää vähennettiin niin, että täyteainetta oli hartsin massasta 20 %. Hartsi 2 -yksikomponenttihartsilla hartsattaessa käytettiin myös $-^{\circ}\text{C}$ valutuslämpötilaa. Muutokset täyteaineen määrässä ja valutuslämpötilassa tehtiin, koska runkokoon 280 testistaattoreita hartsattaessa havaittiin yksikomponenttihartsin korkea hartsausprosessin aika, joka johtui hartsin korkeasta viskositeetista. Muutoksilla saatiin Hartsi 2 viskositeettia matalammaksi ja hartsausprosessin aikaa lyhennet-

tyä. Harts 1 -kaksikomponenttihartsilla hartsattiin Thumm-hartsauskoneen normaaleilla säädöillä. Normaaleilla säädöillä valutuslämpötila oli noin $-^{\circ}\text{C}$ ja kove-
tuslämpötila $-^{\circ}\text{C}$. Runkokoon 355 staattoreiden hartsaukseen meni aikaa noin kolmen työvuoron verran.



Kuva 8. Runkokoon 355 staattori menossa hartsaukseen.

4.5 Osittaispurkausmittaukset

Osittaispurkaus on sähköinen purkaus eristeen sisällä tai pinnalla ja niitä voi tapahtua korkea- ja keskijännitteisissä sähkölaiteissa. Osittaispurkaukset eivät sulje elektrodiväliä täydellisesti. Purkauksia voi tapahtua eristeen sisällä, ilmakuplissa nestemäisessä eristeessä, onteloissa elektrodin ympärillä ja eristeen pinnalla. Osittaispurkaukset ovat yleensä pieniä, mutta ne aiheuttavat vähitellen eristeeseen vahinkoa. Ne voivat aiheuttaa kemiallista, mekaanista tai kuumuudesta aiheutuvaa vahinkoa. /9/

Osittaispurkausmittausten tekemiseen käytettiin Schleich MTC2 12kV-R-PD -nimistä laitetta. Mittalaite kytkettiin staattoriin ja siihen syötettiin nopean nousujan syöksyjännitepulsseja käyttäen step-by-step-metodia (Kuva 9). Jännitettä nostettiin jännitetasojen välillä 100 voltilla ja yhdellä jännitetasolla oli 10 pulssia.

Pulssien syöttäminen staattoriin aloitettiin 1 000 voltin pulssilla 6 000 volttiin asti ja osittaispurkauksen purkausrajaksi asetettiin 25 millivolttia. Laite antoi arvon kohtaan PDIV (Partial Discharge Inception Voltage), kun laite havaitsi sille asetetun purkausrajan ylittyvän. Jännitteen nostamista ja pulssien syöttämistä nostettiin, kunnes laite antoi arvon kohtaan RPDIV (Repetitive Partial Discharge Inception Voltage). Jännitettä laskettiin, kunnes laite antoi RPDEV (Repetitive Partial Discharge Extinction Voltage) -lukeman ja lopulta arvon kohtaan PDEV (Partial Discharge Extinction Voltage). Jokainen mittaus on toistettu kolme kertaa ja mitaukset tehtiin kolmen vaiheen väliltä sekä vaiheet maata vasten.

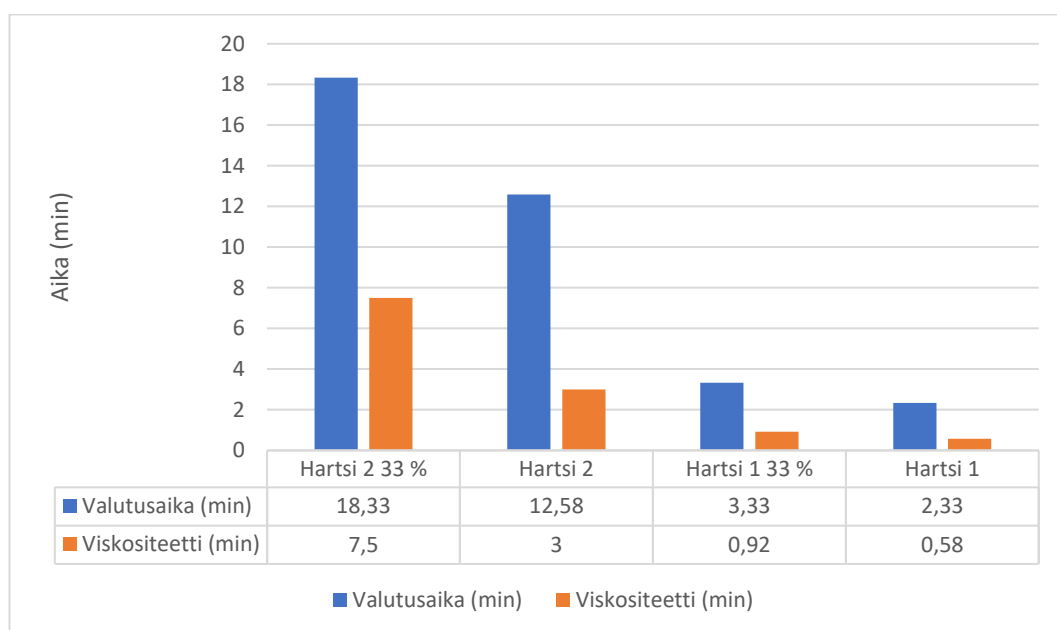


Kuva 9. Hartsattu staattori kytkettynä osittaispurkausmittausta varten.

5 TULOKSET

5.1 Hartsien viskositeetti ja staattoreiden hartsauksen valutusaika

Kuvasta 10 nähdään, kuinka hartsin viskositeetti on yhteydessä staattorin hartsauksen valutusaikaan. Näinpä kuvasta 10 voidaan päätellä, että tutkitavan Hartsin 2 -yksikomponenttihartsin viskositeetti on liian korkea käytettäväksi valutuskylästyksessä, jos käytetään nykyistä Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskylästyksessä käytettävää hartsausmenetelmää.



Kuva 10. Hartsien viskositeetit ja runkokoon 280 staattoreiden keskimääräiset hartsauksen valutusajat.

Hartsin 2 -yksikomponenttihartsin valutusaika oli keskimäärin 3,8-kertainen verrattuna nykyisin käytössä olevaan kaksikomponenttihartsiin, kun hartsattiin runkokoon 280 staattoreita normaalilla hartsausprosessilla. 33 % täyteaineseoksella Hartsin 2 valutusaika oli keskimäärin jopa 5,5-kertainen, kun hartsattiin runkokoon 280 staattoreita.

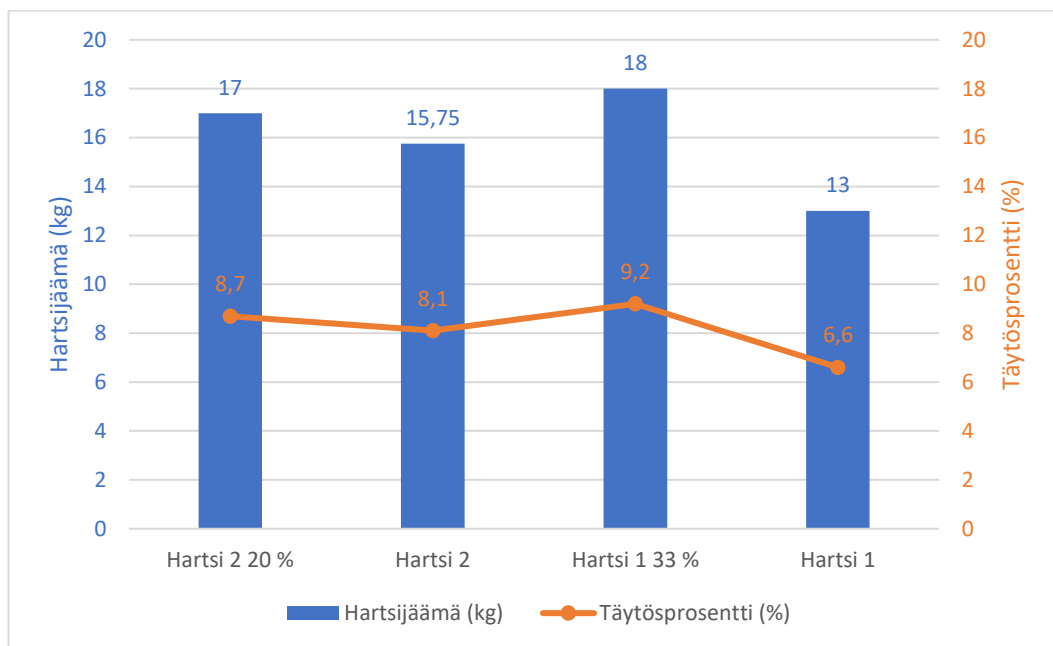
Hartsausprosessin valutuslämpötilan nosto – celsiusasteeseen ja täyteaineen vähentäminen auttoivat lyhentämään hartsauksen valutusvaiheen aikaa. Valutusvaiheeseen kesti silti keskimäärin 2,6-kertainen aika verrattuna nykyisin käytössä olevaan kaksikomponenttihartsiin, kun hartsattiin runkokoon 355 staattoreita yksikomponenttihartsilla ilman täyteainetta. 20 % täyteaineseoksella valutusvaiheeseen meni keskimäärin 3,3-kertainen aika verrattuna nykyisin käytössä olevaan hartsiin.

5.2 Hartsijäämä ja täytösprosentti

Kuvassa 11 on havainnoitu hartsitesteissä hartsattujen runkokoon 355 staattoreiden keskimääräiset hartsijäämät ja täytösprosentit. Hartsi 2 - yksikomponenttihartsilla hartsattujen staattoreiden keskimääräinen hartsijäämä ja täytösprosentti ei ole täyteaineellista Hartsi 1 -kaksikomponenttihartsia suurempi luvussa 5.1 selvinneestä pidempikestoisesta valutusajasta huolimatta. Täyteaineetomalla Hartsi 1 kaksikomponenttihartsilla hartsattujen staattoreiden keskimääräinen hartsijäämä ja täytösprosentti on selvästi matalin.

Hartsattujen runkokoon 280 testistaattoreiden hartsijäämän ja täytösprosentin tuloksista tuli epätarkkoja. Tämä johtui vähemmän tarkasta puntarista verrattuna puntariin, jota käytettiin runkokoon 355 staattoreiden punnitsemiseen. Lisäksi runkokoon 280 staattoreiden hartsijäämät ovat pienemmät, joten hartsien väliset erot eivät näy yhtä selvästi verrattuna runkokoon 355 staattoreihin.

Täytösprosentista pystytään päättämään hartsauksen tulosta ja havaitsemaan poikkeamia staattoreiden laadussa. Hartsijäämä on laskettu hartsatun staattorin massan ja hartsaamattoman staattorin massan erotuksesta. Hartsijäämä kertoo siis, kuinka paljon staattorin massa kasvoi hartsauksen jälkeen. Täytösprosentti on laskettu hartsijäämän ja staattorissa olevan kuparin massan suhteesta.

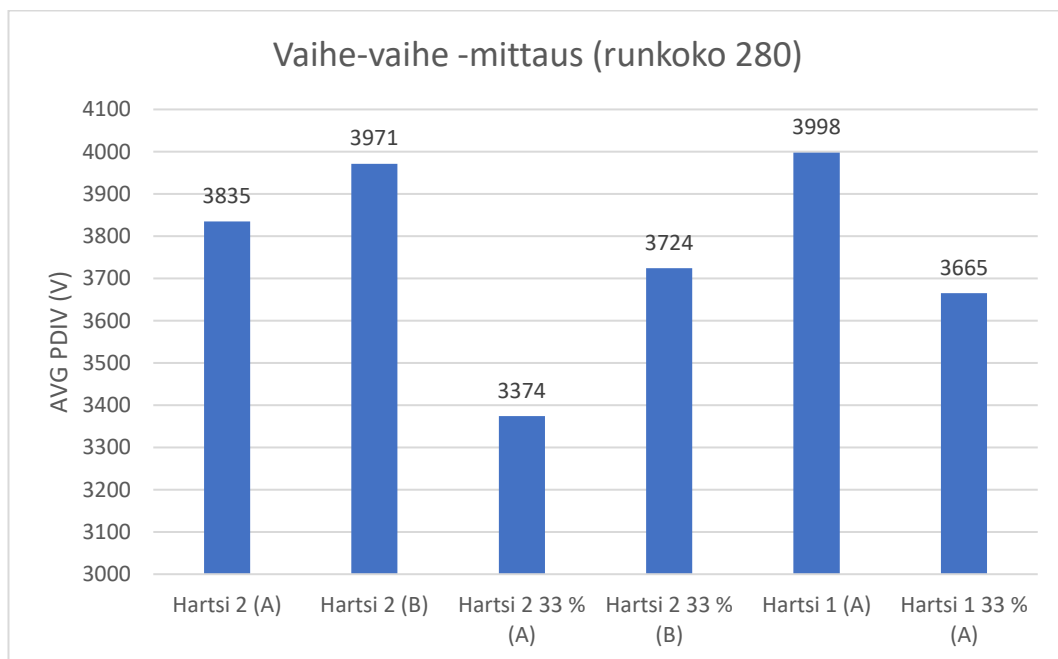


Kuva 11. Hartsattujen runkokoon 355 staattoreiden keskimääräiset hartsijäämät ja täytösprosentit.

5.3 Osittaispurkausmittaukset

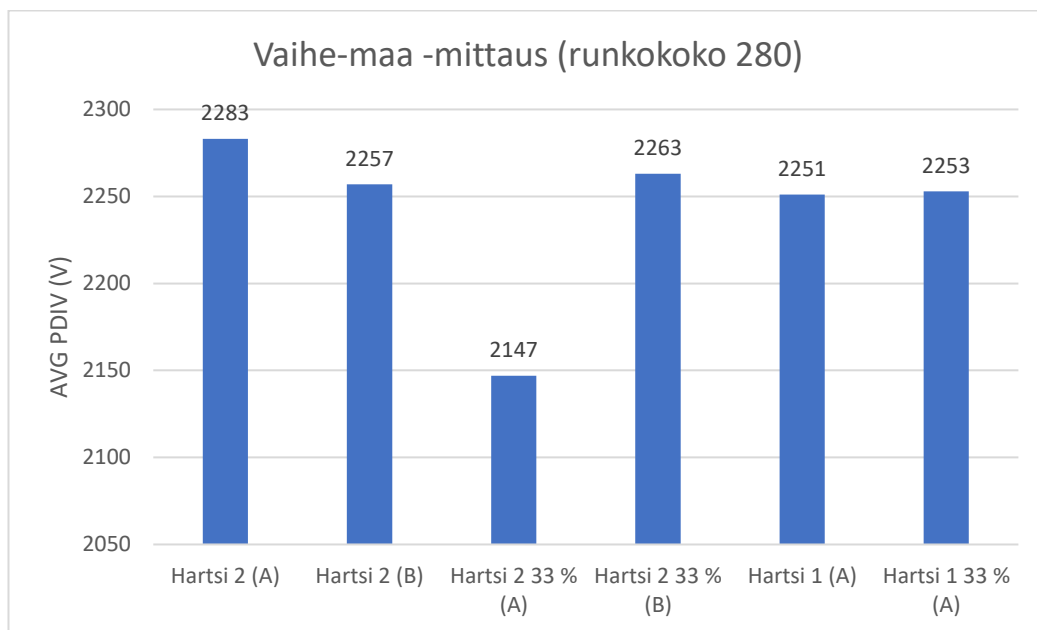
5.3.1 Runkokoko 280

Kuvasta 12 voidaan havaita hartsattujen runkokoon 280 staattoreiden vaiheiden välisten osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet. Kuvasta nähdään, että toinen Harts 2 -yksikomponenttihartsilla 33 % täyteaineseoksella hartsattu staattori antoi selvästi heikompia osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvoja verrattuna muihin testistaattoreihin. Toinen samalla hartsilla hartsattu staattori antoi kuitenkin parempia arvoja. Tämä viittaa siihen, että hartsin ominaisuudet muuttuivat hartsausten välillä eristyksen kannalta paremmaksi. Esimerkiksi hartsin viskositeetti todennäköisesti muuttui matalammaksi hartsin lämpenemisen vuoksi, koska staattoreitten hartsaukseen käytettiin samaa hartsia ja hartsaukset tehtiin lyhyen ajan päässä toisistaan. Hartsien viskositeettia ei mitattu uudestaan hartsausten välillä.



Kuva 12. Runkokoon 280 staattoreiden vaiheiden välisten osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.

Kuvasta 13 voidaan myös havaita niin kuin kuvasta 12, että toinen runkokoon 280 staattori, joka on hartsattu Harts 2 -yksikomponenttihartsilla 33 % täyteaineseoksella, antoi matalia osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvoja vaihe-maa osittaispurkausmittauksella. Muissa testistaattoreissa ei ole huomattavan suuria eroja osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvoissa, kun mitattiin osittaispurkaukset vaihe-maa -mittauksella. Harts 2 -yksikomponenttiharts ilman täyteainetta ja Harts 1 -kaksikomponenttiharts ilman täyteainetta antoivat korkeita osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvoja, kun mitattiin runkokoon 280 hartsitestistaattoreita.



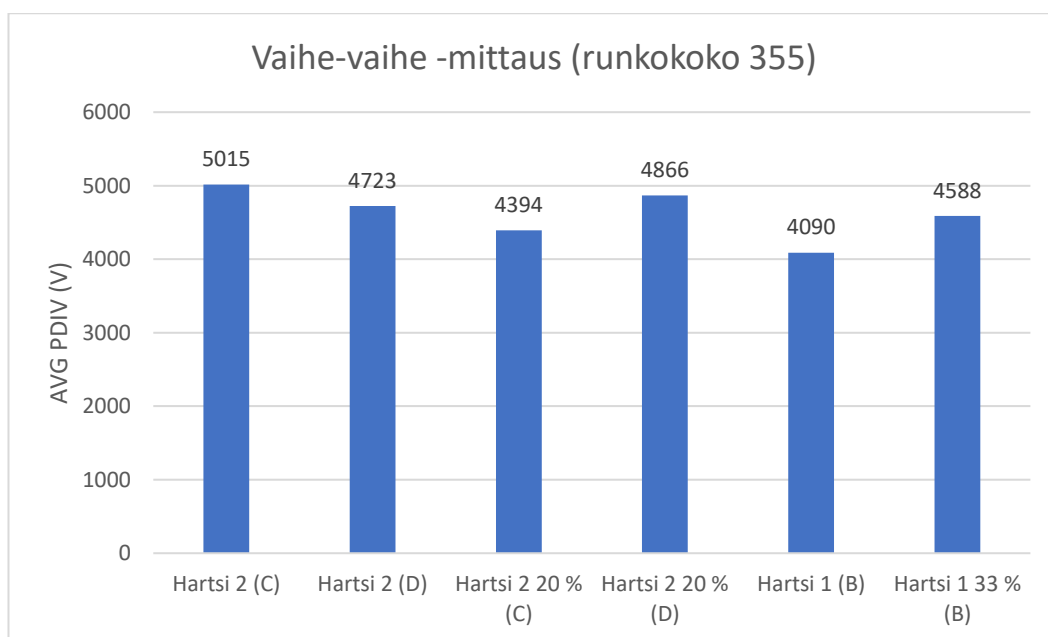
Kuva 13. Runkokoon 280 staattoreiden vaihe-maa osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.

5.3.2 Runkokoko 355

Kuvasta 14 nähdään hartsattujen runkokoon 355 staattoreiden vaiheiden välisten osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet. Runkokoon 355 staattorit antoivat korkeampia osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvoja verrattuna runkokoon 280 staattoreihin. Harts 2 -yksikomponenttihartsilla hartsattiin korotetulla – °C valutuslämpötilalla ja 20 % täyteaineseoksella 33 % sijaan. Tämä vaikuttaisi parantaneen täyteaineellisella yksikomponenttihartsilla hartsattujen staattoreiden hartsaustulosta. 355 runkokoon staattoreiden ominaisuudet ovat myös voineet vaikuttaa siihen, että yksikomponenttihartsin osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvot ovat korkeampia. Staattoreiden sahaaminen auki voisi antaa enemmän tietoa, mistä paremmat tulokset voisivat mahdollisesti johtua.

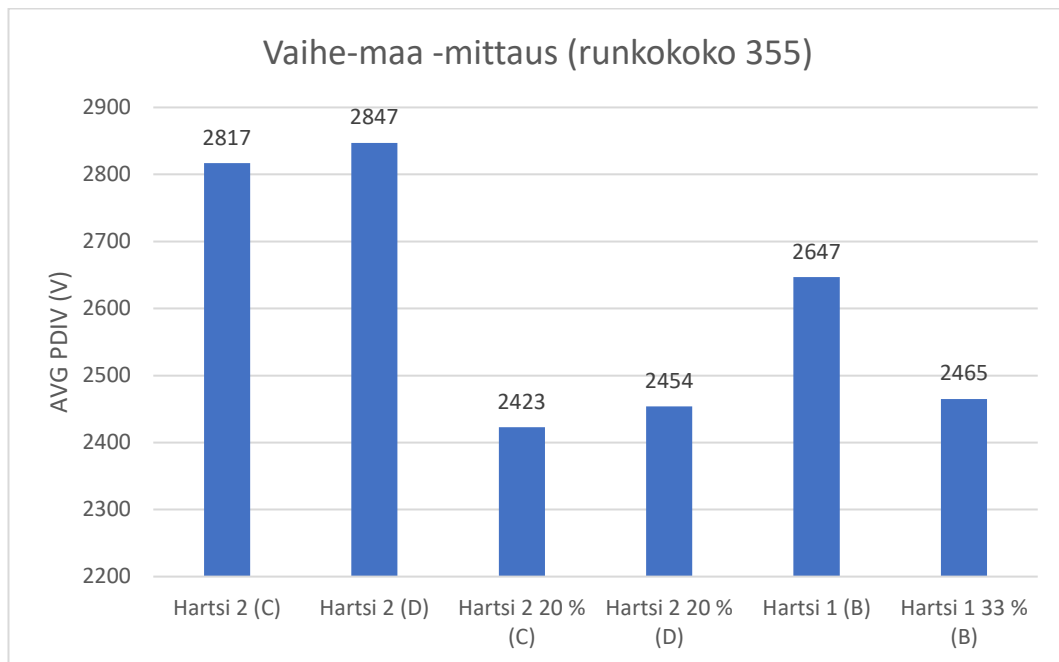
Täyteaineettomalla Harts 1 -kaksikomponenttihartsilla hartsatussa runkokoon 355 staattorissa ilmeni hyvin vaihtelevia ja matalia vaiheiden välisiä osittaispurkaustuloksia. Tämän epäillään johtuvan hartsausprosessin aikana käyneestä hartsausvirheestä, jolloin staattorin kääminnän päiden kastelu unohtui tehdä hart-

sauksen valutusvaiheen aikana. Kääminnän päät kasteltiin vasta hyytelöitymisvaiheessa, kun kääminnän lämpötila oli yli 100 °C. Tämä saattoi aiheuttaa sen, että eristeet eivät ehtineet kastua kunnolla ja hartsi kovettui liian nopeasti. Vaihtelevat vaiheiden väliset osittaispurkausmittauksen tulokset voivat johtua myös täyteaineettoman Hartsin 1 -kaksikomponenttihartsin ominaisuuksista. Staattorin sahaiminen auki voisi selvittää, mistä vaiheenvälisten osittaispurkausmittausten paljon vaihtelevat tulokset johtuvat.



Kuva 14. Runkokoon 355 staattoreiden vaiheiden välisten osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.

Kuvasta 15 voidaan havaita, että vaihe-maa osittaispurkausmittaukset runkokoon 355 staattoreilla antoivat vaihtelevammat tulokset eri hartsienvälillä, kuin vaiheidenväliset mittaukset. Täyteaineeton Hartsin 2 -yksikomponenttihartsi antoi erityisen hyvät osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvot vaihe-maa -mittauksella, mutta 20 % täyteaineseoksella se antoi heikkoja arvoja.



Kuva 15. Runkokoon 355 staattoreiden vaihe-maa osittaispurkausten keskimääräiset syttymisjännitteet.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Keskeiset johtopäätökset

Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Vaasan ABB:n Motors and Generators -yksikön kanssa. Työn tavoitteena oli kehittää Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästystä tutkimalla uudenlaista, vähemmän terveydelle haitallista ja paloturvallisempaa yksikomponenttihartsia.

Työn tuloksista voitiin päätellä, että Harts 2 -yksikomponenttiharts ei sovellu nykyisillä ominaisuuksillaan Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästykseen. Hartsin viskositeetti on liian korkea tällä hetkellä käytettävään valutushartsausmenetelmään ja verrattuna nykyisin käytössä olevaan kaksikomponenttihartiin. Korkea viskositeetti aiheuttaa liian pitkäkestoisen hartsausprosessin ajan. Lisäksi osittaispurkausmittauksista havaittiin yksikomponenttihartsin heikot osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvot, jos hartsin kanssa käytettiin täyteainetta 33 % täyteseoksella. Täyteaineeton yksikomponenttiharts antoi kuitenkin hyviä osittaispurkausten syttymisjännitteiden arvoja.

6.1.1 Jatkotutkimukset

Jatkotutkimuksia tarvitaan yksikomponenttihartsin ominaisuuksien ja hartsaustulosten lisäselvityksiin. Hartsitestistaattoreiden sahauksilla pystytään tarkastelemaan hartsaustulosta staattorin sisältä ja selvittämään mahdollisia syitä staattorin matalille tai korkeille osittaispurkausmittausten tuloksille. Jatkotutkimuksissa olisi hyvä selvittää, voisiko Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästykseen saada käyttöön vastaava yksikomponenttiharts kuin tässä työssä tutkittu, mutta matalampi viskositeettinen. Vaasan ABB:n hartsaamon valutuskyllästyksen kehittäminen on tärkeää, jotta nykyisin käytettävä styreenipitoinen kaksikomponenttiharts saadaan korvattua paloturvallisemmalla ja terveydelle vähemmän haitallisella hartsilla.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy. ABB:n suomalaiset juuret. Viitattu 30.10.2019.
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/historia/suomalaiset-juuret>
- /2/ ABB Oy. 2020. Motors and Generators. Viitattu 28.1.2020
<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/motors-and-generators>
- /3/ Elantas Electrical Insulation. Hartsit 1 tuotetiedot. Vain ABB:n sisäiseen käyttöön. Viitattu 11.5.2020.
- /4/ Elantas Electrical Insulation. Hartsit 2 tuotetiedot. Vain ABB:n sisäiseen käyttöön. Viitattu 11.5.2020.
- /5/ Hengitysliitto. Styreeni. Viitattu 11.1.2020
<https://www.hengitysliitto.fi/fi/styreeni>
- /6/ Tietokortti kemiallisesta altistumisesta metalli- ja autoalojen työtehtävissä. 2019. Työturvallisuuskeskus. Viitattu 11.1.2020
https://ttk.fi/files/6500/Kaamien_hartsikyylasty_1.3_02112018.pdf
- /7/ Korjaamotarviketukku. Tuotekuvat. Viitattu 4.5.2020
https://www.korjaamotarviketukku.fi/tuotekuvat/1200x1200/Viskositeettikuppi_Sata_Kuva2.jpg
- /8/ Työterveyslaitos. Styreeni. Viitattu 11.5.2020 <https://www.ttl.fi/kemikaalit-ja-tyo/styreeni/>
- /9/ What is partial discharge and why is it important to detect? 2019. IRISS, Inc. Viitattu 26.5.2020 <https://www.iriss.com/articles/what-is-partial-discharge-pd-and-why-is-it-important-to-detect/>